

Міністерство освіти і науки України
Донецький національний технічний університет
Кафедра “Технологія машинобудування”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання контрольної роботи
з розрахунку оптимальних режимів різання
методом лінійного програмування
(для студентів спеціальності 7.090202
“Технологія машинобудування”)

Розглянуто на засіданні кафедри
“Технологія машинобудування”
протокол № 5
від “11” листопада 2004 р.

Затверджено на засіданні
навчально-видавничої
ради ДонНТУ
протокол №
від “ ” 2004 р.

Донецьк ДонНТУ 2004

УДК 621.75.008.001.2 (071)

Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з розрахунку оптимальних режимів різання методом лінійного програмування (для студентів спеціальності 7.090202 “Технологія машинобудування”) / Т.Г. Івченко - Донецьк: ДонНТУ, 2004. - 24с.

Приведені основні теоретичні зведення про розрахунок оптимальних режимів різання методом лінійного програмування . Представлено варіанти завдань і методичні вказівки до виконання контрольної роботи, наведені приклади розрахунку. Приведено рекомендований список літератури.

Укладач

Т.Г. Івченко, доц.

Відп. за випуск

О.М. Михайлов, проф.

Рецензент

І.О. Малишко, проф.

© Донецький національний технічний університет, 2004

1 Завдання на контрольну роботу

За даними умовами обробки – марці і властивостям оброблюваного матеріалу, розмірам оброблюваної поверхні і припускові на обробку розрахувати оптимальні режими різання методом лінійного програмування, що забезпечать максимальну продуктивність обробки.

Вихідні дані для розрахунку представлені в табл. 1 додатка А. Варіант завдання вибирається по останнім двом цифрах шифру залікової книжки. Приклад комп'ютерного розрахунку оптимальних режимів різання методом лінійного програмування представлений в додатку Б. У додатку В приведений приклад оформлення титульного листа контрольної роботи.

2 Основні теоретичні зведення

2.1 Постановка задачі оптимізації як задачі визначення оптимальних умов різання

У машинобудівному виробництві, як і у всіх інших областях виробничої діяльності людини, практично завжди виникають задачі вибору найбільш ефективного варіанта рішення з безлічі технічно (технологічно) припустимих. При проектуванні технологічного процесу виготовлення виробу ці задачі здобувають конкретні форми, зв'язані з вибором методів обробки, складу і послідовності технологічних операцій, технологічного оснащення, розмірних характеристик і режимів різання.

Любою технологічний процес (операція, перехід) повинний бути ефективним (оптимальним), тобто найкращим з позицій обраного критерію оптимальності K_0 . При цьому повинні бути задоволені різного роду обмеження, що формують область припустимих рішень. Для конкретного варіанта технологічного процесу механічної обробки така теза означає необхідність розрахунку оптимальних режимів різання, тобто пошук оптимальних значень шуканих параметрів X технологічного процесу.

Крім шуканих параметрів технологічний процес характеризується сукупністю фазових параметрів y , що є функціями шуканих (незалежних) параметрів (наприклад, сила і потужність різання, стійкість інструмента й ін.). Крім того, у математичну модель процесу входять вихідні параметри: коефіцієнти рівнянь і іншої постійні для розв'язуваної задачі величини. Всі обмеження представляються у виді системи нерівностей, кожне з яких дає припустимі межі варіювання відповідного фазового або шуканого параметра (наприклад, найбільше припустиме значення сили різання, частоти обертання шпинделя і т.п.). Аналітично це можливо записати у вигляді:

$$X_{i\min} \leq X_i \leq X_{i\max}, Y_{j\min} \leq Y_j \leq Y_{j\max}, X_i \in \bar{X}, Y_i \in \bar{Y}_i$$

Критерій оптимальності - функція вихідних і шуканих параметрів:

$$K_0 = K_0(\bar{X}, \bar{V}),$$

Передбачається, що цей критерій необхідно або максимізувати (K_0 — *max*), або мінімізувати (K_0 -*min*). Пошук вектора шуканих параметрів, що доставляє максимальне (мінімальне) значення критерію K_0 , здійснюється на деякій безлічі G припустимих рішень :

$$K_o(\bar{X}, \bar{Y}) \xrightarrow{\bar{X} \in G} \max(\min)$$

Таким чином, задача пошуку оптимальних режимів різання описується наступною математичною моделлю:

$$K_o(\bar{X}, \bar{Y}) \xrightarrow{\bar{X} \in G} \max(\min)$$

$$Y_j = j_j(\bar{X}, \bar{V}), Y_j \in \bar{Y}$$

$$X_{i \min} \leq X_i \leq X_{i \max}, X_j \in \bar{X};$$

$$Y_{j \min} \leq Y_j \leq Y_{j \max}$$

Отримана модель дозволяє класифікувати вихідну задачу оптимізації як задачу математичного програмування, що у залежності від виду обмежень і цільової функції відноситься до одного з наступних класів задач: лінійного, нелінійного, дискретного, динамічного і стохастичного програмування.

2.2 Критерії оптимальності при розрахунку режимів різання

Для умов обробки одним інструментом цільова функція, що зв'язує собівартість з режимами різання, має вигляд:

$$C = a \left(t_o + t_c \frac{t_r}{T} \right) + a' \frac{t_r}{T},$$

де C - частина технологічної собівартості, що залежить від режимів різання; a - собівартість станко - хвилини ; t_o - основний час обробки; t_c - час зміни інструмента; t_p - дійсний час різання заготовки; T - стійкість інструмента; a' - вартість інструмента, приведений до одного періоду стійкості

$$a' = C_{in}/KT,$$

де C_{in} – вартість інструменту, K - кількість періодів стійкості (залежить від виду інструмента: для напаяного інструмента: $K = n+1$, де n кількість переточок; для інструмента з багатогранними пластинками, що не переточуються: $K = mN$, де m – кількість ріжучих граней пластини, N - кількість пластин, що на одну державку

Продуктивність обробки назад пропорційна часові, який на неї затрачується.. Тому як цільова функція використовується частина штучно-калькуляційного часу, що залежить від режимів різання:

$$t'_{u} = t_o + t_c \frac{t_p}{T}$$

Досліджуємо функцію собівартості обробки. Після тривіальних перетворень її можна представити у вигляді:

$$C = \frac{K_1}{VS} + \frac{K_2}{VST},$$

де K_1, K_2 - постійні величини.

З цього вираження видно, що для зменшення собівартості необхідно прагнути, з одного боку, до збільшення добутку $VS \rightarrow \max$, а з іншого боку - до збільшення стійкості інструмента $T \rightarrow \max$ або $V^m S^n \rightarrow \min$. Тому що $m > 0$ і $n > 0$, то виникає визначене протиріччя при спробі задовольнити обоє вимоги одночасно. Унаслідок цього, для спрощення пошуку оптимальних рішень необхідно виділити підмножину припустимих значень V і S яке по своїх властивостях було б аналогічно безлічі Парето. Іншими словами, якщо в цій безлічі переходити від однієї крапки (рішення) до іншої, те обов'язково один із зазначених раніше критеріїв покращиться, а іншої - погіршиться.

Нехай задана область припустимих значень, обумовлена нерівностями:

$$V_{\min} \leq V \leq V_{\max}, S_{\min} \leq S \leq S_{\max}.$$

Побудуємо на цій безлічі лінії рівня функції $j_1 = VS$ функції $j_2 = V^m S^n$ (рис. 2.1). Тому що $m > n$, те лінії рівня функції будуть "крутіше", чим лінії рівня функції j_1 .

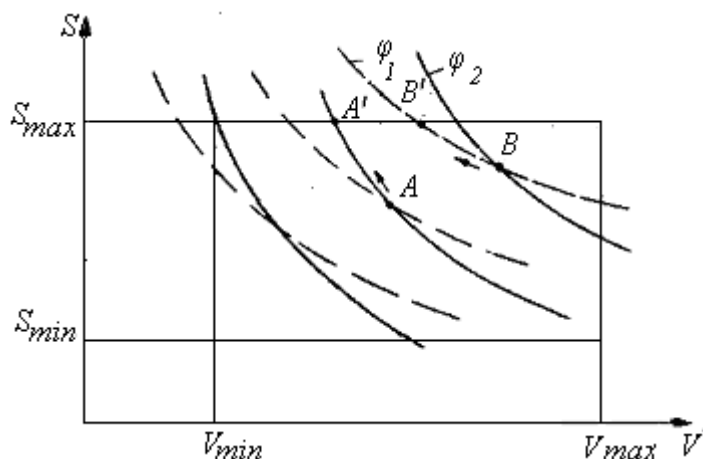


Рисунок 2.1 - Лінії рівня функцій j_1 і j_2

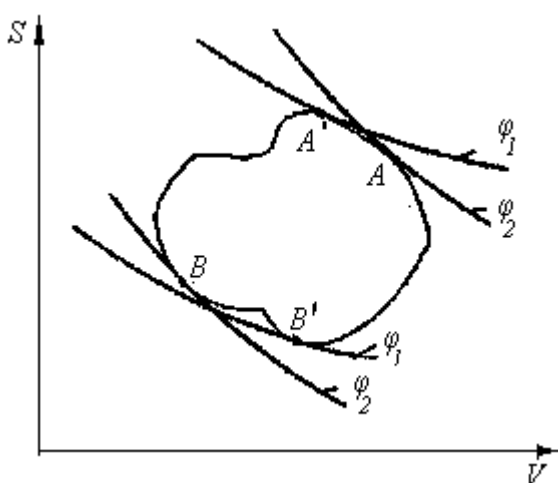


Рисунок 2.2- Псевдопаретовская область значень при довільних обмеженнях

Візьмемо довільну крапку A . Якщо переміщатися уздовж лінії j_2 нагору, то видно, що крапка A' краща з крапок, що лежать на лінії j_2 , тому що значення добутку $V \cdot S$ у цій крапці найбільше. Візьмемо довільну крапку B . Якщо переміщатися уздовж лінії нагору, то видно, що крапка B' - краща з крапок, що лежать на лінії j_1 , тому що значення вираження $V^m \cdot S^n$ цій крапці найменше. У такому разі можна затверджувати, що безліч псевдопаретовских крапок лежать на лініях $S = S_{\max}$ і $V = V_{\min}$.

Якщо область припустимих значень обмежена замкнутої кривої довільної форми, то оптимальні рішення варто шукати на границі ОДЗ між максимально розкиданими крапками торкання ліній j_1 і j_2 з зазначеною границею (рис.2.2). При переміщенні від B' до A' шукана область на рис.2.2 знаходиться між крапками B' і A' .

Нехай $t_0 = \frac{\Pi dl}{1000VS}$, (де t_0 - діаметр оброблюваної поверхні, l - довжина) і $t_p = t_0$. Тоді функцію C можна представити в наступному вигляді:

$$C = K \frac{a + bV^m S^n t^k}{VS}, b = \frac{at_c + a'}{k_t C_t}, K = \frac{\Pi dl}{1000}.$$

З умови мінімуму собівартості можна записати $\frac{\partial C}{\partial j} = 0$ і $\frac{\partial C}{\partial S} = 0$.

Вирішивши ці рівняння, одержимо:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{bV^m S^n t^k (m-1) - a}{V^2 S} = 0, \\ \frac{bV^m S^n t^k (n-1) - a}{VS^2} = 0. \end{array} \right. \quad (1)$$

У зв'язку з тим, що $m > n$, то зазначені рівняння не можуть бути справедливими одночасно, що означає відсутність єдиного рішення. Для будь-якого значення подачі S швидкість різання, що задовольняє рівнянню (1), буде менше швидкості, розрахованої з рівняння (2).

Для оптимізації режимів різання нерідко використовується критерій максимального прибутку. Прибуток, отриманий в одиницю часу:

$$P_c = \frac{D_p - C_p}{t_{um}},$$

де D_p - доход, що приходить на одну деталь, без обліку вартості матеріалу; C_p - собівартість обробки однієї деталі; t_{um} - штучний час. Прибуток, отриманий на одиницю витрачених засобів:

$$P_c = \frac{D_p - C_p}{C_p + 3},$$

де 3 - додаткові витрати.

Слід зазначити, що в загальному випадку швидкість різання, що відповідає максимального прибутку за одиницю часу, буде відрізнятися від швидкостей різання, що відповідають мінімальній собівартості і максимальній продуктивності.

Для перебування оптимальних режимів різання використовують також наступні критерії.

1. Відношення обсягу матеріалу, що знімається, до собівартості:

$$\mathcal{E}_1 = \frac{\Pi dl t}{1000C} = \frac{VS t}{a + bV^m S^n t^k} \rightarrow \max.$$

2. Відношення продуктивності до собівартості:

$$\Theta_2 = \frac{1}{t_{\text{ш}} C} = \frac{V^2 S^2}{(1 + b' V^m S^n t^k)(a + b V^m S^n t^k)} \rightarrow \max, b' = \frac{t_c}{K_t C_t}.$$

3. Відношення обсягу проробленої роботи до собівартості:

$$\Theta_3 = \frac{A}{S} = \frac{P_2 L}{C} = K' \frac{V^{a_1+1} S^{a_2} t^{a_3}}{a + b V^m S^n t^k} \rightarrow \max;$$

$$P_z = k_{pz} C_{pz} V^{a_1} S^{a_2} t^{a_3}, k' = \text{const}.$$

4. Відношення обсягу матеріалу, що знімається за одну хвилину роботи, до хвилинних витрат:

$$\Theta_4 = \frac{V S t T}{a T + a' t_0} \rightarrow \max.$$

Кожний з перерахованих критеріїв має свої достоїнства і недоліками. Однак варто вказати на їхній комплексний характер, обумовлений, по суті справи, мультиплікативною "зверткою" більш простих критеріїв.

Як критерії оптимальності можуть також використовуватися точність обробки, стійкість інструмента, показники якості поверхні виробу (шорсткість, вовнистість, залишкові напруги й ін.), показники довговічності виробу (зносо-стійкість, питома міцність, контактна твердість і ін.), надійність операції, стабільність обробки, КПД устаткування і т.п.

Особливий інтерес представляють інформаційні критерії. Аналіз інформаційних зв'язків у технологічному процесі дозволяє по-новому, з кібернетичної точки зору підійти до розгляду і синтезу технології. З цих позицій процес формоутворення можна розглядати як процес передачі інформації від креслення деталі на заготівлю. Тим самим коректно говорити не тільки про енергетичну і технологічну, але і про інформаційну продуктивність технологічного процесу. У першому наближенні маса інформації, що утримується в структурі обробленої деталі,

$$J = S \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{\Delta R_i} \log_2 \frac{R_i}{\Delta R_i} \right),$$

де S - площа обробленої поверхні; n - кількість отриманих розмірів; R_i - i -й отриманий розмір; ΔR_i - точність i -го розміру.

2.3 Обмеження при розрахунку режимів різання

Правильний розрахунок оптимальних режимів різання не можливий без обліку обмежень. Розглянемо деякі типи обмежень, що найбільше широко використовується в теорії і практиці машинобудування.

1. Кінематичні обмеження визначають максимально і мінімально можливі подачі і швидкості різання і характеризуються кінематичною структурою приводу головного руху і приводу подач.

2. Обмеження по максимальній потужності верстата. Для здійснення різання необхідно, щоб $N_p > N_{cm} h$, де N_p потужність різання; N_{cm} - потужність електродвигуна приводу головного руху; η - КПД приводу головного руху. Для гостріння, квт:

$$N_p = \frac{P_z V}{60 \cdot 10^2} = \frac{k_{pz} C_{pz} V^{a_1} S^{e_2} t^{a_3} p d n}{6 \cdot 10^3},$$

де n - частота обертання, про/хв.

3. Обмеження по максимальному моменті, що крутить. Для безаварійної роботи верстата необхідно, щоб $M_{cm} > M_p$, де M_{cm} - припустимий момент, що крутить, на шпинделі, заданий виходячи з міцності слабкої ланки коробки швидкостей; M_p - момент, що крутить, викликаний силою різання:

$$M_p = \frac{P_z d}{2000}.$$

4. Обмеження по міцності слабкої ланки передачі верстата. Запишемо наступне рівняння:

$$P_{cm} \geq P_x + f(P_z + P_y) = P_x + 0.1(P_y + P_z)$$

де f - коефіцієнт тертя. З огляду на те, що $P_y \approx 0.4P_z$; $P_x \approx 0.25P_z$, одержуємо $P_{cm} \geq 0.39P_z$.

5. Обмеження по міцності державки різця. Якщо розглядати різець як балку, навантажену на кінці зосередженими силами P_z і P_x , то умова її міцності можна представити у вигляді:

$$\frac{P_z L_B}{W_z} + \frac{P_x L_B}{W_z} \leq \sigma_u; W_z = \frac{B^2 H}{6}; W_x = \frac{B^2 H}{6},$$

де l - виліт державки різця, мм; W - момент опору перетину державки різця, мм³; σ_u - допустиме напруження на вигин для матеріалу державки, МПа; B, H - ширина і висота державки, мм.

6. Обмеження по міцності тврдосплавної пластини. Сила різання при гострінні різцем із тврдосплавною пластинною обмежується її міцністю:

$$P_z \leq 34C^{1.35} t^{0.77} \left(\frac{\sin 60}{\sin j} \right)^{0.8},$$

де C - товщина пластини, мм; φ - головний кут різця в плані.

7. Обмеження по жорсткості ріжучого інструмента. Під дією сили різання інструмент пружно деформується, що впливає на точність обробки. Зневажаючи силами P_y і P_x , стрілу прогину f_p різця при гострінні можна визначити по формулі:

$$f_p = \frac{P_z L_B^3}{3EI} \leq f_{d.дон}$$

де E - модуль пружності матеріалу державки різця, I - полярний момент інерції перетину державки різця, мм^4 . Для чорнового гостріння, $f_{p.дон} \approx 0,1\text{мм}$. Для чистового $0,05...0,03\text{ мм}$.

8. Обмеження по жорсткості оброблюваної деталі. Результируюча сила, що викликає прогин деталі:

$$P_{zy} = \sqrt{P_z^2 + P_y^2} \approx 1.1P_z$$

Максимальна стріла прогину деталі:

$$f_0 = P_{zy} l^3 / k_3 EI \leq f_{0.дон.},$$

де l - довжина деталі; K_3 - коефіцієнт, що залежить від способу закріплення деталі, μ - динамічний коефіцієнт.

9. Обмеження по шорсткості обробленої поверхні. Існують як теоретичні, так і експериментальні залежності для розрахунку параметрів шорсткості. Приведені в літературі рівняння представлені в додатку. У загальному випадку ці рівняння мають вигляд

$$R_a(R_{\max}) = k_R V^{b_1} S^{b_2} t^{b_3},$$

де k - постійна величина для заданої геометрії інструмента і характеристик оброблювального та різального матеріалів.

10. Обмеження по температурі різання. Для того щоб забезпечити необхідні характеристики поверхневого шару, часто необхідно накладати обмеження на максимальну температуру різання. Рівняння для розрахунку температури різання мають вигляд:

$$\Theta = k_B V^{g_1} S^{g_2} t^{g_3},$$

де k - постійна величина.

Існують також теоретичні залежності для розрахунку температури різання, однак їхнє використання утруднене внаслідок необхідності мати досить велике число характеристик оброблюваного і інструментального матеріалів.

11. Обмеження по крутячому моменті, припустимим затискним патроном. Для розрахунку зазначеного моменту використовуються теоретичні моделі для різних конструктивних виконань патрона.

12. Обмеження по мінімально припустимому відношенню товщини, стружки до її ширини. При малих значеннях зазначеного співвідношення різко збільшується силове навантаження на різець, що приводить до підвищеного зносу інструмента.

13. Обмеження по частоті обертання шпинделя, зв'язане з появою вібрацій у системі верстат - пристосування - інструмент - заготівка, аналітичних залежностей майже не має.

Зазначені обмеження носять технічний характер. Крім них можуть бути враховані і планово-економічні обмеження. Наприклад, максимально припустиме основний час обробки, мінімально припустима стійкість інструмента і т.п. Формування всієї системи обмежень являє собою досить трудомістку задачу, і тому в практичних випадках часто враховують тільки деякі з них.

2.4 Оптимізація режимів різання методом лінійного програмування

Одним з найбільш розповсюджених методів оптимізації в даний час є метод лінійного програмування [1], що дозволяє здійснювати одночасну оптимізацію швидкості різання і подачі з обліком діючих при різанні обмежень за критерієм максимальної продуктивності. Для лінійної цільової функції і лінійних обмежень широко використовується графічний метод пошуку оптимальних режимів різання. Можливо також використання аналітичних методів рішення.

Як цільова функція розглядається продуктивність обробки, обумовлена основним часом:

$$t_0 = L/ns ,$$

де L - довжина обробки, n , s - частота обертання і подача.

Максимум продуктивності досягається при мінімумі основного часу, або максимумі добутку $n \cdot s \rightarrow \max$.

Для утворення математичної моделі процесу різання та використання з метою визначення оптимальних режимів різання основних положень методу лінійного програмування необхідно усі технічні обмеження та цільову функцію перетворити в лінійний вигляд. Це досить просто виконати шляхом логарифмування з введенням нових позначень: $X1 = \ln n$; $X2 = \ln s$. Внаслідок лінеаризації цільової функції й технічних обмежень математична модель процесу різання виражається системою лінійних нерівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} z_1 X1 + y_1 X2 \leq b_1, \\ z_2 X1 + y_2 X2 \leq b_2, \\ \dots\dots\dots \\ z_n X1 + y_n X2 \leq b_n, \\ (X1 + X2) \rightarrow \max. \end{array} \right.$$

З математичної точки зору визначення оптимальних режимів різання зводиться до того, щоб серед можливих значень $X1$ та $X2$ відшукати такі $X1_{opt}$, $X2_{opt}$, при яких лінійна форма цільової функції $f_0 = (X1 + X2)$ приймає найбільше можливе значення та на підставі яких визначаються оптимальні частота обертання і подача:

$$n_{opt} = e^{X1_{opt}} , s_{opt} = e^{X2_{opt}} .$$

При графічному методі пошуку оптимальних режимів різання кожне лінійне нерівняння системи на площині $X1 - X2$ має вигляд прямих ліній. При перетинанні цих ліній утворюється випуклий замкнений багатокутник (рис.3.1), координати вершин якого є корні сумісного рішення рівнянь системи. Лінійна форма цільової функції на площині $X1 - X2$ має вигляд прямої, проведеної під кутом 45° . Цільова функція приймає максимальне значення в крапці, для якої сума відстаней до осей $(X1+X2)$ максимальна, про що свідчить крайнє можливе положення лінії, що характеризує цільову функцію. Координати цієї крапки $(X1_{opt}, X2_{opt})$ є шуканими оптимальними значеннями параметрів.

3 Порядок і приклади розрахунку оптимальних режимів різання

3.1 Розрахунок оптимальних режимів різання під час чорнкової токарної обробки

Визначити оптимальні режими різання – швидкість різання та подачу, що забезпечують максимальну продуктивність при чорновій токарній обробці вала діаметром $D = 200\text{мм}$, довжиною $L = 300\text{мм}$ зі сталі 30 (міцність $s_g = 600\text{МПа}$, $s_u = 200\text{МПа}$), збірними різцями з механічним закріпленням твердосплавних пластин Т5К10 (геометричні параметри: головний кут в плані $j = 45^\circ$, передній кут $g = 10^\circ$, товщина пластини $c = 5\text{мм}$, ширина та висота державки $B = 25\text{мм}$, $H = 25\text{мм}$, виліт різця $lp = 25\text{мм}$, стійкість $T = 30\text{хв.}$, глибина різання $t = 3\text{мм}$) на токарно-гвинторізному верстаті 16К20 (потужність $N_{cm} = 10\text{кВт}$; коефіцієнт корисної дії $h = 0,8$; максимально сила, що допускається міцністю слабкої ланки механізму подачі верстата $P_{cm} = 6000\text{Н}$)

Цільова функція - продуктивність обробки, обумовлена основним часом:

$$t_0 = L/ns,$$

де L - довжина обробки, n , s - частота обертання і подача.

Максимум продуктивності досягається при мінімумі основного часу, або максимумі добутку $n \cdot s \rightarrow \max$.

Під час чорнкової токарної обробки розглядаються наступні обмеження:

- по можливостях ріжучого інструмента, обумовленою швидкістю різання, що відповідає його стійкості, що враховують вимоги до періодичності зміни інструмента в зв'язку з організаційною формою обслуговування устаткування:

$$pDn/1000 \leq C_v K_v / T^m t^{x_v} s^{y_v},$$

де D – діаметр обробки, C_v , K_v – коефіцієнти і x_v , y_v , m – показники, що характеризують ступінь впливу глибини t , подачі s і стійкості T на швидкість різання v , які визначаються в залежності від умов експлуатації;

- по гранично припустимій потужності різання, обумовленою потужністю електродвигуна приводу головного руху верстата N_{cm} :

$$C_p K_p s^{y_p} t^{x_p} (pLn)^{(n_p+1)} / 6 \cdot 10^{3(n_p+2)} \leq N_{cm} h,$$

де C_p , K_p - коефіцієнти і x_p , y_p , n_p – показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі і швидкості на силу різання P_z , які визначаються в залежності від умов експлуатації, h - коефіцієнт корисної дії передач верстата;

- по силі, що допускає міцність слабкої ланки механізму подачі верстата:

$$0,39 C_p K_p s^{y_p} t^{x_p} \leq P_{cm},$$

де P_{cm} - максимально допустима сила, обумовлена паспортом верстата, Н; K_{px} , - коефіцієнт і y_{px} , - показники, що характеризують ступінь впливу глибини і подачі на осьову силу P_x та визначаються в залежності від умов експлуатації;

- по міцності державки різця:

$$\sigma_u BH^2 / 6l \leq C_p K_p t^{x_p} s^{y_p} n^{n_p} (pD)^{n_p} K3 / 1000^n,$$

де l - виліт державки різця, σ_u - допустиме напруження на вигин для матеріалу державки, B і H - ширина і висота державки; $K3$ – коефіцієнт, залежний від способу закріплення деталі;

- по міцності пластини різця:

$$34c^{1.35} t^{0.77} (\sin 60^\circ / \sin j)^{0.8} \geq C_p K_p s^{y_p} t^{x_p},$$

де c – товщина пластини;

- по гранично припустимих діапазонах частоти обертання і подачі, обумовленим кінематичною структурою приводу головного руху і приводу подач:

$$n_{\min} \leq n \leq n_{\max}, \quad s_{\min} \leq s \leq s_{\max}.$$

Для реалізації метода лінійного програмування та геометричної інтерпретації математичної моделі процесу різання необхідно представити наведені нерівняння в наступному вигляді:

$$\begin{aligned} ns_y &\leq 1000 C_v K_v / pDT^m t^{x_v}; \\ n^{(n_p+1)} s^{y_p} &\leq 6 \cdot 10^3 (n_p+2) N_{cm} h / C_p K_p (pD)^{(n_p+1)} t^{x_p}; \\ s^{y_p} &\leq P_{cm} / 0,39 C_p K_p t^{x_p}; \\ n^{n_p} s^{y_p} &\leq \sigma_u BH^2 1000^n / 6l C_p K_p (pD)^{n_p} t^{x_p} K3 \\ s^{y_p} &\leq 34c^{1.35} (\sin 60^\circ / \sin j)^{0.8} / C_p K_p s^{y_p} t^{(x_p-0.77)}; \\ n_{\min} &\leq n \leq n_{\max}; \\ s_{\min} &\leq s \leq s_{\max}. \end{aligned}$$

В результаті лінеаризації цільової функції й обмежень шляхом логарифмування визначена наступна математична модель процесу різання, яка виражена системою лінійних нерівнянь, графічно представлених на рис. 3.1:

$$\begin{cases} X1 + y_v X2 \leq b_1, \\ (n_p + 1)X1 + y_p X2 \leq b_2, \\ y_p X2 \leq b_3, \\ n_p X1 + y_p X2 \leq b_4, \\ y_p X2 \leq b_5, \\ X1 \geq b_6, \\ X1 \leq b_7, \\ X2 \geq b_8, \\ X2 \leq b_9, \\ (X1 + X2) \rightarrow \max, \end{cases}$$

де $X1 = \ln n$; $X2 = \ln s$; $b_6 = \ln n_{min}$; $b_7 = \ln n_{max}$; $b_8 = \ln s_{min}$; $b_9 = \ln s_{max}$;
 $b_1 = \ln(1000C_V K_V / pDT^m t^{x_v})$; $b_2 = \ln(6 \cdot 10^3 (n_p+2) N_{cm} h / C_P K_P (pD)^{(n_p+1)} t^{x_p})$;
 $b_3 = \ln(P_{cm} / 0,39 C_P K_P t^{x_p})$; $b_4 = \ln(s_u B H^2 1000^n / 6l C_P K_P (pD)^{n_p} t^{x_p} K_3)$;
 $b_5 = \ln(34c^{1.35} (\sin 60^\circ / \sin j)^{0.8} / C_P K_P s^{y_p} t^{(x_p-0.77)})$.

Для заданих умов механообробки прийняті наступні коефіцієнти та показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі і стійкості на швидкість різання: $C_V = 340$; $K_V = 0,65$; $x_v = 0,15$; $y_v = 0,45$; $m = 0,2$; [5];

коефіцієнти і показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі і швидкості на силу різання; $C_P = 300$; $K_P = 0,84$; $x_p = 1,0$; $y_p = 0,75$; $n_p = -0,15$; [5].

З їх урахуванням визначені наступні значення параметрів b_i : $b_1 = 5,021$; $b_2 = 4,51$; $b_3 = 0,76$; $b_4 = 0,939$; $b_5 = -0,148$; $b_6 = -2,996$; $b_7 = 1,03$; $b_8 = 2,536$; $b_9 = 7,601$.

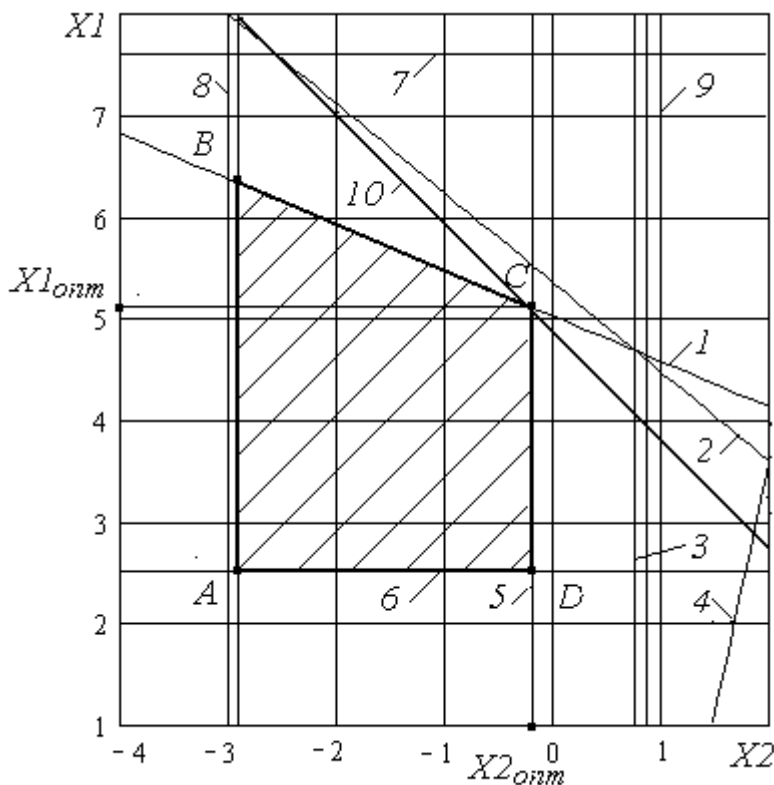


Рисунок 3.1 – Схема визначення оптимальних режимів різання для чорнової токарної обробки

Багатокутник $ABCD$ являє собою область можливих рішень. Цільова функція приймає максимальне значення в крапці C , для якої сума відстаней до осей $(X1+X2)$ максимальна, про що свідчить укрій можливе положення лінії 10, що характеризує цільову функцію. Координати крапки $C(X1_{opt}, X2_{opt})$ є шуканими оптимальними значеннями параметрів, на підставі яких визначаються оптимальні частота обертання і подача.

Для заданих умов механообробки визначені наступні результати розрахунку оптимальних режимів різання:

$$X1_{opt} = -0,197; X2_{opt} = 5,11$$

$$n_{opt} = e^{X1_{opt}} = 165 \text{ об/хв}; s_{opt} = e^{X2_{opt}} = 0,82 \text{ мм/об}; v_{opt} = pDn_{opt}/1000 = 104 \text{ м/хв}$$

Згідно паспортним даним верстата прийняті наступні режими різання:

$$n_{opt} = 160 \text{ об/хв}; s_{opt} = 0,8 \text{ мм/об}; v_{opt} = 100 \text{ м/хв.}$$

Приклад комп'ютерного розрахунку оптимальних режимів різання з використанням пакету MathCAD 2000 Profession приведений в додатку Б.

3.2 Розрахунок оптимальних режимів різання під час чистової токарної обробки

Визначити оптимальні режими різання – швидкість різання та подачу, що забезпечують максимальну продуктивність при чистовій токарній обробці вала діаметром $D = 200\text{мм}$, довжиною $L = 300\text{мм}$ зі сталі 30 (міцність $s_s = 600\text{МПа}$, $s_u = 200\text{МПа}$), збірними різцями з механічним закріпленням твердосплавних пластин Т15К6 (геометричні параметри: головний кут в плані $j = 45^\circ$, передній кут $g = 0^\circ$, радіус при вершині $r = 1\text{мм}$; стійкість $T = 60\text{хв.}$, глибина різання $t = 1\text{мм}$); шорсткість обробленої поверхні $R_a = 1,25\text{ мкм}$.

Цільова функція - продуктивність обробки, обумовлена основним часом:

$$t_0 = L/ns,$$

де L - довжина обробки, n , s - частота обертання і подача.

Максимум продуктивності досягається при мінімумі основного часу, або максимумі добутку $n \cdot s \rightarrow \max$.

Для чистової токарної обробки розглядаються наступні обмеження:

- по можливостях інструмента, що різуть, обумовленою швидкістю різання, що відповідає його стійкості, що враховують вимоги до періодичності зміни інструмента в зв'язку з організаційною формою обслуговування устаткування:

$$pDn/1000 \leq C_v K_v / T^m t^{x_v} s^{y_v},$$

де D – діаметр обробки, C_v , K_v – коефіцієнти і x_v , y_v , m – показники, що характеризують ступінь впливу глибини t , подачі s і стійкості T на швидкість різання v , обумовлені в залежності від умов експлуатації;

- по гранично припустимій шорсткості обробленої поверхні R_a :

$$k_0 s^{k_1} (90 + g)^{k_4} / r^{k_2} (pD/1000)^{k_3} \leq R_a,$$

де k_0 , k_1 , k_2 , k_3 , k_4 – коефіцієнт і показники, що характеризують ступінь впливу подачі s , переднього кута g , радіуса при вершині r і швидкості v на шорсткість обробленої поверхні R_a , обумовлені в залежності від умов експлуатації;

- по гранично припустимих діапазонах частоти обертання і подачі, обумовленим кінематичною структурою приводу головного руху і приводу подач:

$$n_{\min} \leq n \leq n_{\max}, \quad s_{\min} \leq s \leq s_{\max}.$$

Для реалізації метода лінійного програмування та геометричної інтерпретації математичної моделі процесу різання необхідно представити наведені нерівняння в наступному вигляді:

$$ns_y \leq 1000 C_v K_v / pDT^m t^{x_v};$$

$$n^{k_3} s^{k_2} = R_a r^{k_2} (pD/1000)^{k_3} / k_0 (90 + g)^{k_4}$$

$$n_{\min} \leq n \leq n_{\max};$$

$$s_{\min} \leq s \leq s_{\max}.$$

В результаті лінеаризації цільової функції й обмежень шляхом логарифмування визначена наступна математична модель процесу різання, яка виражена системою лінійних нерівнянь, графічно представлених на рис. 3.2:

$$\begin{cases} X1 + y_v X2 \leq b_1, \\ k_3 X1 + k_2 X2 \leq b_2, \\ X1 \leq b_3, \\ X1 \geq b_4, \\ X2 \geq b_5, \\ X2 \leq b_6, \\ (X1 + X2) \rightarrow \max, \end{cases}$$

де $X1 = \ln n$; $X2 = \ln s$; $b_3 = \ln n_{max}$; $b_4 = \ln n_{min}$; $b_5 = \ln s_{min}$; $b_6 = \ln s_{max}$;
 $b_1 = \ln(1000C_v K_v / pDT^m t^{x_v})$; $b_2 = \ln(R_a r^{k_2} (pD/1000)^{k_3} / k_o (90 + g)^{k_4})$.

Для заданих умов механообробки прийняті наступні коефіцієнти та показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі і стійкості на швидкість різання: $C_v = 350$; $K_v = 1$; $x_v = 0,15$; $y_v = 0,35$; $m = 0,2$; [5];

коефіцієнти і показники, що характеризують ступінь впливу подачі, переднього кута, радіуса при вершині і швидкості v на шорсткість обробленої поверхні: $k_0 = 7,0$; $k_1 = 0,85$; $k_2 = 0,65$; $k_3 = 0,36$; $k_4 = 0,15$; [6].

З їх урахуванням визначені наступні значення параметрів b_i : $b_1 = 5,439$; $b_2 = -2,565$; $b_3 = 7,601$; $b_4 = 2,536$; $b_5 = -2,996$; $b_6 = 1,03$.

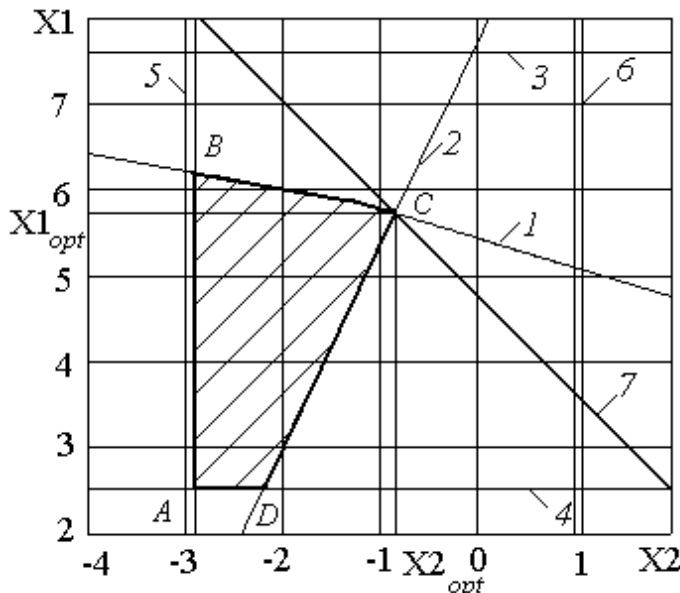


Рисунок 3.2 – Схема визначення оптимальних режимів різання для чистової токарної обробки

Багатокутник $ABCD$ являє собою область можливих рішень. Цільова функція приймає максимальне значення в крапці Z , для якої сума відстаней до осей $(X1+X2)$ максимальна, про що свідчить укрій можливе положення лінії 7, що характеризує цільову функцію. Координати крапки $Z(X1_{opt}, X2_{opt})$ є шуканими оптимальними значеннями параметрів, на підставі яких визначаються оптимальні частота обертання і подача:

Для заданих умов механообробки визначені наступні результати розрахунку

оптимальних режимів різання:

$$X1_{opt} = -0,612; X2_{opt} = 5,657$$

$$n_{opt} = e^{X1_{opt}} = 2860 \text{ об/хв}; s_{opt} = e^{X2_{opt}} = 0,53 \text{ мм/об};$$

$$v_{opt} = pDn_{opt}/1000 = 180 \text{ м/хв}$$

Згідно паспортним даним верстата прийняті наступні режими різання:

$$n_{opt} = 300 \text{ об/хв}; s_{opt} = 0,5 \text{ мм/об}; v_{opt} = 188 \text{ м/хв.}$$

3.3 Аналітичні розрахунки оптимальних режимів різання під час чорнкової та чистової токарної обробки

Представлений графік (рис.3.1) наочно ілюструє, що при чорновій обробці оптимальні значення режимів різання не залежать від кінематичних обмежень, зазначених на графіку лініями 6, 7, 8, 9; а також від обмежень по міцності державки різця та по силі, що допускає міцність слабкої ланки механізму подачі верстата, зазначених на графіку лініями 3 і 4, а визначаються тільки обмеженнями по здібностях ріжучого інструмента, потужності верстата і міцності пластини різця заданими лініями 1, 2 і 3. У такому випадку оптимальні подача і швидкість різання можуть бути визначені аналітично:

$$s_{opt} = \left(34 \cdot c^{1,25} \cdot t^{(0,77-x_p)} \cdot \left(\frac{\sin(f_1)}{\sin(f)} \right)^{0,8} / C_p \cdot K_p \right)^{\frac{1}{y_p}}$$

$$v_{opt} = \begin{cases} \left(\frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot t^{x_v}} \right) \cdot \left(C_p \cdot K_p / 34 \cdot c^{1,25} \cdot t^{(0,77-x_p)} \cdot \left(\frac{\sin(f_1)}{\sin(f)} \right)^{0,8} \right)^{\frac{y_v}{y_p}}, & \text{якщо } 0 \leq t \leq t_0 \\ \left(6 \cdot 10^3 \cdot N_e \cdot h / t^{0,77} \cdot 34 \cdot c^{1,25} \cdot \left(\frac{\sin(f_1)}{\sin(f)} \right)^{0,8} \right)^{\frac{1}{n+1}}, & \text{якщо } t \geq t_0 \end{cases}$$

де

$$t_0 = \left(\frac{34 \cdot c^{1,25} \cdot \left(\frac{\sin(f_1)}{\sin(f)} \right)^{0,8} \cdot (C_p \cdot K_p)^{\frac{y_v \cdot (n+1)}{(y_p - y_v \cdot (n+1))}}}{\left(\frac{T^{m \cdot (n+1)} \cdot (6 \cdot 10^3 \cdot N_e \cdot h)}{C_v^{(n+1)} \cdot K_v^{(n+1)}} \right)^{\frac{y_p}{(y_p - y_v \cdot (n+1))}}} \right)^{\frac{1}{x_p - 0,77 - \frac{(x_p - x_v \cdot (n+1)) \cdot y_p}{(y_p - y_v \cdot (n+1))}}}$$

Згідно з аналітичними формулами розраховані режими, які підтверджують результати графічного методу пошуку оптимальних режимів різання:

$$t_0 = 4,729 \text{ мм}; n_{opt} = 165 \text{ об/хв}; s_{opt} = 0,82 \text{ мм/об}; v_{opt} = 104 \text{ м/хв.}$$

Представлений графік (рис.3.2) наочно ілюструє, що при чистовій обробці оптимальні значення режимів різання не залежать від кінематичних обмежень, зазначених на графіку лініями 3, 4, 5, 6, а визначаються тільки обмеженнями по здібностях ріжучого інструмента і шорсткості обробленої поверхні R_a , заданими лініями 1 і 2. У такому випадку оптимальні подача і швидкість різання можуть бути визначені аналітично:

$$s_{opt} = \left[R_a C_V^{k_3} K_V^{k_3} r^{k_2} / k_0 T^{mk_3} t^{x_v k_3} (90 + g)^{k_4} \right]^{1/(k_1 + y_v k_3)},$$

$$v_{opt} = \frac{C_V K_V}{T^m t^{x_v}} \left[\frac{k_0 T^{mk_3} t^{x_v k_3} (90 + g)^{k_4}}{R_a C_V^{k_3} K_V^{k_3} r^{k_2}} \right]^{y_v / (k_1 + y_v k_3)}.$$

Згідно з аналітичними формулами розраховані режими, які підтверджують результати графічного методу пошуку оптимальних режимів різання:

$$n_{opt} = 286 \text{об/хв}; s_{opt} = 0,53 \text{мм/об}; v_{opt} = 180 \text{м/хв}.$$

Перелік посилань

1. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. - М.: Высш. шк., 1985. - 304с.
2. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. - М.: Машиностроение. 1989. - 296с.
3. Ящерицын П.И., Еременко М.Л., Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: Учеб. для вузов. - Мн.: Выш. шк., 1990. - 512с.
4. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А.А. Панова. - М.: Машиностроение, 1988. - 736с.
5. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. - М.: Машиностроение. 1985. - 496с.
6. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. - М.: Машиностроение. 1985. - 496с.
7. Справочник по обработке металлов резанием / Ф.Н. Абрамов, В.В. Коваленко, В.Е. Любимов и др. - К.: Техніка, 1983. - 239с.
8. Теория резания металлов в примерах и задачах / О.С. Кроль, Е.У. Зарубицкий, В.Н. Кисилев. - К.: УМК ВО, 1992. - 124 с.
9. Оптимизация и управление процессом резания: Учеб. пособие / О.С. Кроль, Г.Л. Хмеловский. - К.: УМК ВО, 1991. - 140с.

Таблиця 1 - Початкові дані для виконання контрольної роботи
з розрахунку оптимальних режимів різання під час токарної обробки

№ ,№ варіан- тів	Матеріал оброблюваної деталі	Міц- ність S_6 , МПа	Діа- метр D , мм	Дов- жина l , мм	При- пуск $A_{\text{черн}}$, мм	При- пуск $A_{\text{чист}}$, мм	Шорс- ткість, R_a , мкм
1, 51	Сталь 45	750	40	120	5	1	0,63
2,52	Ст. 3	600	90	250	4	1,4	1,25
3.53	Сталь 40X	750	30	150	3	12	1,25
4,54	Сталь 20X	700	100	400	4,5	1,3	0,63
5.55	Сталь 15X21H5T	900	78	250	5,5	1,25	0,63
6,56	Сталь 40X	750	48	135	3,5	1,34	1,25
7,57	Сталь 50	850	93	134	4,5	1,3	0,32
8,58	Сталь 20X2H4A	640	56	250		1,24	0,63
9,59	Сталь 40X	750	90	250	5	1,4	1,25
10,60	Ст. 5	640	112	350	4	1,5	1,25
11,61	Сталь 60Г	900	20	50	3	1,1	0,63
12,62	Сталь 20XГНР	740	49	215	5,5	1,25	0,63
13,63	Сталь А40Г	600	56	180	5	1,28	0,63
14,64	Сталь 15X5	780	29	50	4,5	1,2	1,25
15.65	Сталь 30ХМА	850	40	124	3,5	1,1	0,63
16,66	Сталь 40X	750	48	210	5,5	1,4	1,25
17,67	Сталь 45X	790	85	400	4	1,4	0,63
18.68	Сталь 30ХН3А	750	148	520	3	1,6	1,25
19,69	Сталь 40X	750	65	458	5	1,3	0,63
20,70	Сталь 30X	750	120	560	4,5	1,6	1,25
21,71	Сталь 50Г2	830	54	210	3,5	1,2	0,32
22.72	Сталь 15X25T	680	20	145	5,5	1,3	1,25
23,73	Сталь 20XГСА	800	110	500	4	1,3	0,63
24,74	Сталь 18ХГТ	700	58	158	5	1,2	0,63
25,75	Сталь 40X	750	100	86	260	0,4	1,25

Продовження табл. 1

№ ,№ варіан- тів	Матеріал оброблюваної деталі	Міц- ність S_b , МПа	Діа- метр D , мм	Дов- жина l , мм	При- пуск $A_{чорн}$, мм	При- пуск $A_{чист}$, мм	Шор- ткість, R_a , мкм
26,76	Сталь 40Х	750	94	310	4,5	1,3	2,5
27,77	Сталь 20Х	700	78	450	3,5	1,6	1,25
28,78	Сталь 65Г	750	34	140	5	1,1	2,5
29,79	Сталь 35	650	86	340	5,5	1,4	2,5
30,80	30ХГСА	1100	112	560	3	1,3	2,5
31,81	Сталь 30ХМ	800	88	240	4,5	1,4	1,6
32,82	Ст. 4	580	99	300	5	1,3	2,5
33,83	Сталь 40Х	750	88	440	3,5	1,4	1,25
34,84	Сталь 15Х6СЮ	790	43	240	5	1,2	2,5
35,85	Сталь 12ХН3А	720	68	320	4,5	1,4	2,5
36,86	Сталь 30ХН	750	122	360	3	1,6	2,5
37,87	Сталь 40Х	750	86	260	5,5	1,4	1,25
38,88	Сталь 45Г2	700	94	310	5	1,3	2,5
39,89	Сталь 50	640	78	450	3,5	1,4	1,25
40,90	Сталь 18ХГ	750	34	140	4,5	1,1	2,5
41,91	Ст.3	650	86	340	3	1,4	2,5
42,92	Сталь 40Х	750	112	560	5	1,8	2,5
43,93	Сталь 50ХН	900	48	126	5,5	1,1	2,5
44,94	Сталь 45Л	550	88	234	5	1,6	2,5
45,95	Сталь 30	600	38	144	3,5	1,4	2,5
46,96	Сталь 40Х	750	110	540	3	1,3	2,5
47,97	Сталь 30ХН3А	790	76	220	5,5	1,2	2,5
48,98	Сталь 35Г2	630	48	125	3	1,3	2,5
49,99	Сталь 12ХН2	800	68	258	3,5	1,8	2,5
50,100	Сталь 40Х	750	114	660	4,5	1,5	1,25

Визначення оптимальних режимів різання при чорновій токарній обробці методом лінійного програмування

Вхідні дані для розрахунку:

розміри оброблюваної поверхні: . діаметр - D и довжина - L ; міцність оброблювального матеріала - σ ; марка інструментального матеріала Т5К10; товщина пластини - c ; ширина - B і висота - H державки; виліт різця - l_p ; міцність на ізгиб матеріала державки - σ_u ; геометричні параметри: головний кут в плані- ϕ ; передній кут - γ ; кут нахилу ріжучої кромки - λ ; глибина різання - t ; стійкість різця - T ; потужність станка Ne ; коефіцієнт корисної дії η .

Позначення параметрів:

$$L := 300 \quad D := 200 \quad t_1 := 3 \quad \sigma := 598 \quad \sigma_u := 200 \quad c := 4.76 \quad T := 30 \quad Ne := 10 \\ \phi := 45 \text{deg} \quad \phi_1 := 60 \text{deg} \quad \gamma := 10 \text{deg} \quad \lambda := 0 \quad B := 25 \quad H := 25 \quad l_p := 25 \quad \eta := 0.8$$

Формування системи обмежень

1. Обмеження по ріжучим можливостям інструмента

$$K_o := 1.0 \quad n_v := 1.0 \quad K_{nv} := 0.8 \quad K_w := 0.65 \quad C_v := 340 \quad x_v := 0.15 \quad y_v := 0.45 \\ K_{mv} := K_o \cdot \left(\frac{750}{\sigma} \right)^{n_v} \quad K_v := K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_w \quad O_{11} := \frac{1000 C_v \cdot K_v}{T^m \cdot t_1^{x_v} \cdot \pi \cdot D} \quad m := 0.20 \\ K_v = 0.652 \quad O_{11} = 151.59$$

2. Обмеження по потужності привода головного руху станка

$$K_\phi := 1.0 \quad K_\gamma := 1.0 \quad K_\lambda := 1.0 \quad n_p := 0.75 \quad C_p := 300 \quad x_p := 1.0 \quad y_p := 0.75 \\ K_m := \left(\frac{\sigma}{750} \right)^{n_p} \quad K_p := K_m \cdot K_\phi \cdot K_\gamma \cdot K_\lambda \quad n := -0.15 \\ K_p = 0.844 \quad O_{21} := \frac{1000^{(n+1)} \cdot 6 \cdot 10^4 \cdot Ne \cdot \eta}{10 C_p \cdot K_p \cdot (\pi D)^{(n+1)} \cdot t_1^{x_p}} \\ O_{21} = 93.824$$

3. Обмеження по силі, що допускає міцність слабкої ланки механізму подачі станка

$$P_c := 6000 \quad O_{31} := \frac{P_c}{3.9 \cdot C_p \cdot K_p \cdot t_1^{x_p}} \\ O_{31} = 2.026$$

4. Обмеження по міцності державки різця

$$K_3 := 1 \quad W := B \cdot \frac{H^2}{6} \\ O_{41} := \frac{\sigma_u \cdot W \cdot 1000^n}{10 C_p \cdot K_p \cdot t_1^{x_p} \cdot l_p \cdot (\pi \cdot D)^n \cdot K_3} \\ O_{41} = 2.559$$

5. Обмеження по міцності пластини ріжучої частини різця

$$O_{51} := \frac{34 \cdot c^{1.25} \cdot \left(\frac{\sin(\phi_1)}{\sin(\phi)} \right)^{0.8}}{C_p \cdot t_1^{(x_p - 0.77)} \cdot K_p} \\ O_{51} = 0.863$$

Кінематичні обмеження по подачам и частотам обертання, що допускаються

$$s_{min} := 0.05 \quad s_{max} := 2.8 \\ n_{min} := 12.5 \quad n_{max} := 2000$$

Розробка математичної моделі процесу різання

$$b_{11} := \ln(O_{11}) \quad b_{21} := \ln(O_{21}) \quad b_{31} := \ln(O_{31}) \quad b_{41} := \ln(O_{41}) \quad b_{51} := \ln(O_{51})$$

$$b_{11} = 5.021 \quad b_{21} = 4.541 \quad b_{31} = 0.706 \quad b_{41} = 0.939 \quad b_{51} = -0.148$$

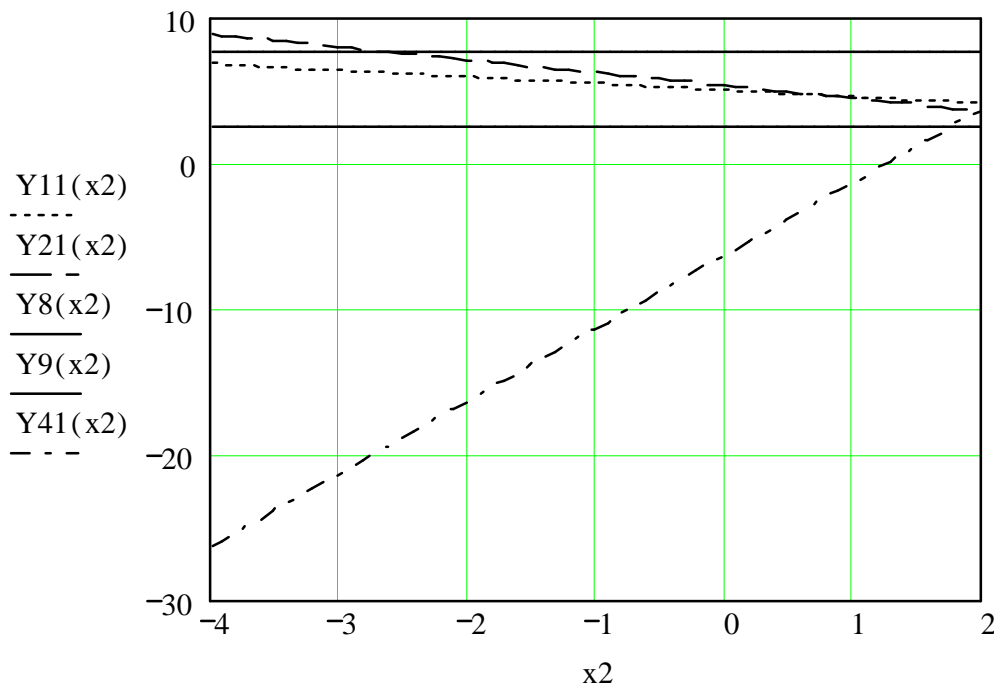
$$b_6 := \ln(s_{\min}) \quad b_7 := \ln(s_{\max}) \quad b_8 := \ln(n_{\min}) \quad b_9 := \ln(n_{\max})$$

$$b_6 = -2.996 \quad b_7 = 1.03 \quad b_8 = 2.526 \quad b_9 = 7.601$$

$$\begin{aligned} Y_{11}(x_2) &:= b_{11} - y_v \cdot x_2 & Y_{31} &:= \frac{b_{31}}{y_p} & Y_6 &:= b_6 \\ Y_{21}(x_2) &:= \frac{b_{21} - y_p \cdot x_2}{n + 1} & Y_{31} &= 0.941 & Y_7 &:= b_7 \\ Y_{41}(x_2) &:= \frac{b_{41} - y_p \cdot x_2}{n} & Y_{51} &:= \frac{b_{51}}{y_p} & Y_8(x_2) &:= b_8 \\ & & Y_{51} &= -0.197 & Y_9(x_2) &:= b_9 \end{aligned}$$

$$s := 0.05, 0.1 \dots 2.8 \quad \ln(0.05) = -2.996 \quad \ln(0.1) = -2.303 \quad \ln(2.8) = 1.03$$

$$x_2 := -3.0, -2.9 \dots 2$$



Визначення оптимальних значень подачі и частоти обертання на підставі графічних побудов

$$x_{22} := \frac{b_{51}}{y_p}$$

Оптимальна
подача

$$s_{01} := e^{x_{22}}$$

$$s_{01} = 0.821$$

$$x_{22} = -0.197$$

Оптимальна
частота обертання

$$n_{01} := e^{x_{11}}$$

$$n_{01} = 165.641$$

$$x_{11} := b_{11} - y_v \cdot x_{22}$$

$$x_{11} = 5.11$$

Оптимальна
швидкість різання

$$v_{01} := \frac{\pi \cdot D \cdot n_{01}}{1000}$$

$$v_{01} = 104.076$$

Аналитичний розрахунок оптимальних значень подачі і скорості різання

$$to := \left[\frac{34 \cdot c^{1.25} \cdot \left(\frac{\sin(\phi 1)}{\sin(\phi)} \right)^{0.8} \cdot (Cp \cdot Kp)^{\frac{yv \cdot (n+1)}{[yp - yv \cdot (n+1)]}}}{\left[\frac{T^m \cdot (n+1) \cdot (6 \cdot 10^3 \cdot Ne \cdot \eta)}{[Cv^{(n+1)} \cdot Kv^{(n+1)}]} \right]^{\frac{yp}{[yp - yv \cdot (n+1)]}}} \right]^{\frac{1}{xp - 0.77 - \frac{[xp - xv \cdot (n+1)] \cdot yp}{[yp - yv \cdot (n+1)]}}}$$

$$sol := \left[\frac{34 \cdot c^{1.25} \cdot t1^{(0.77 - xp)} \cdot \left(\frac{\sin(\phi 1)}{\sin(\phi)} \right)^{0.8}}{Cp \cdot Kp} \right]^{\frac{1}{yp}} \quad to = 4.729$$

$$sol = 0.821$$

$$vol := \begin{cases} \left(\frac{Cv \cdot Kv}{T^m \cdot t1^{xv}} \right) \cdot \left[\frac{Cp \cdot Kp}{34 \cdot c^{1.25} \cdot t1^{(0.77 - xp)} \cdot \left(\frac{\sin(\phi 1)}{\sin(\phi)} \right)^{0.8}} \right]^{\frac{yv}{yp}} & \text{if } 0 \leq t1 \leq to \\ \left[\frac{6 \cdot 10^3 \cdot Ne \cdot \eta}{t1^{0.77} \cdot 34c^{1.25} \cdot \left(\frac{\sin(\phi 1)}{\sin(\phi)} \right)^{0.8}} \right]^{\frac{1}{n+1}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$vol = 104.076$$

Міністерство освіти і науки України
Донецький національний технічний університет
Кафедра “Технологія машинобудування”

Контрольна робота № 3
“Розрахунок оптимальних режимів різання
методом лінійного програмування”
по курсу “ Основи керування процесом різання”

Виконав студент групи _____
механічного факультету

ФІБ, підпис

дата

Перевірив _____

ФІБ, підпис

дата

Зміст

1 Завдання на контрольну роботу	3
2 Основні теоретичні зведення	3
2.1 Постановка задачі оптимізації як задачі визначення	3
2.2 Критерії оптимальності при розрахунку режимів різання	4
2.3 Обмеження при розрахунку режимів різання	7
2.4 Оптимізація режимів різання методом лінійного програмування	10
3 Порядок і приклади розрахунку оптимальних режимів різання	11
3.1 Розрахунок оптимальних режимів різання під час чорнкової токарної обробки	11
3.2 Розрахунок оптимальних режимів різання під час чистової токарної обробки	14
3.3 Аналітичні розрахунки оптимальних режимів різання під час чорнкової та чистової токарної обробки	16
Перелік посилань	17
Додатки	18
Додаток А Початкові дані для виконання контрольної роботи з розрахунку оптимальних режимів різання під час токарної обробки	18
Додаток Б Приклад розрахунку оптимальних режимів різання з використанням пакету MathCAD 2000 Profession	20
Додаток В Приклад оформлення титульного листа контрольної роботи	23